

**SISTEM PERENCANAAN GERAKAN BERJALAN ROBOT HUMANOID R2C-
R9 BIOLOID GP MENGGUNAKAN METODE PROYEKSI BIDANG
KARTESIAN**

Oleh

Evan Narendra Anragani

NIM: 612012010



Skripsi

Untuk melengkapi salah satu syarat memperoleh

Gelar Sarjana Teknik

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik Elektronika dan Komputer

Universitas Kristen Satya Wacana

Salatiga

September 2016



PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Evan Norendra Angragani
NIM : 612012010 Email : 612012010@student.uksw.edu
Fakultas : FTEK Program Studi : Teknik Elektro
Judul tugas akhir : Sistem Perencanaan Gerakan Berjalan Robot Humanoid
R2C-R9 Bioloid GP Menggunakan Metode Proyeksi
Bidang Kartesian.
Pembimbing : 1. Daniel Santoso, M.S.
2. Gunawan Dewantoro, S.T., M.Sc. Eng.

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Hasil karya yang saya serahkan ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar kesarjanaan baik di Universitas Kristen Satya Wacana maupun di institusi pendidikan lainnya.
2. Hasil karya saya ini bukan saduran/terjemahan melainkan merupakan gagasan, rumusan, dan hasil pelaksanaan penelitian/implementasi saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan pembimbing akademik dan narasumber penelitian.
3. Hasil karya saya ini merupakan hasil revisi terakhir setelah diujikan yang telah diketahui dan disetujui oleh pembimbing.
4. Dalam karya saya ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali yang digunakan sebagai acuan dalam naskah dengan menyebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.

Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya. Apabila di kemudian hari terbukti ada penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya saya ini, serta sanksi lain yang sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Universitas Kristen Satya Wacana.

Salatiga, 9 September 2016.



Evan Norendra A.



PERNYATAAN PERSETUJUAN AKSES

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Evan Narendra Angragani
NIM : 612012010 Email : 612012010@student.uksw.edu.
Fakultas : FTEK Program Studi : Teknik Elektro
Judul tugas akhir : Sistem Perencanaan Gerakan Berjalan Robot Humanoid
R2C-R9 Bidod 6P Menggunakan Metode Proyekti
Bidang Karterian.

Dengan ini saya menyerahkan hak *non-eksklusif** kepada Perpustakaan Universitas – Universitas Kristen Satya Wacana untuk menyimpan, mengatur akses serta melakukan pengelolaan terhadap karya saya ini dengan mengacu pada ketentuan akses tugas akhir elektronik sebagai berikut (beri tanda pada kotak yang sesuai):

- ☒ a. Saya mengizinkan karya tersebut diunggah ke dalam aplikasi Repositori Perpustakaan Universitas, dan/atau portal GARUDA
- ☐ b. Saya tidak mengizinkan karya tersebut diunggah ke dalam aplikasi Repositori Perpustakaan Universitas, dan/atau portal GARUDA**

* Hak yang tidak terbatas hanya bagi satu pihak saja. Pengajar, peneliti, dan mahasiswa yang menyerahkan hak non-eksklusif kepada Repositori Perpustakaan Universitas saat mengumpulkan hasil karya mereka masih memiliki hak copyright atas karya tersebut.

** Hanya akan menampilkan halaman judul dan abstrak. Pilihan ini harus dilampiri dengan penjelasan/ alasan tertulis dari pembimbing I dan diketahui oleh pimpinan fakultas (dekan/kaprodi).

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Salatiga, 9 September 2016.

Evan Narendra A.

Tanda tangan & nama terang mahasiswa

Mengetahui,

Dawid

Tanda tangan & nama terang pembimbing I

Gunawan D.

Tanda tangan & nama terang pembimbing II

**SISTEM PERENCANAAN GERAKAN BERJALAN ROBOT HUMANOID R2C-
R9 BIOLOID GP MENGGUNAKAN METODE PROYEKSI BIDANG
KARTESIAN**

Oleh

Evan Narendra Anragani

NIM : 612012010

Skripsi ini telah diterima dan disahkan
Untuk melengkapi salah satu syarat memperoleh

Gelar Sarjana Teknik

dalam

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik Elektronika dan Komputer

Universitas Kristen Satya Wacana

Salatiga

Disahkan oleh :

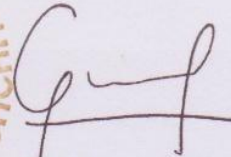
Pembimbing I



Daniel Santoso, M.S.

Tanggal : 7/9/2016

Pembimbing II



Gunawan Dewantoro, S.T., M.Sc.Eng

Tanggal : 7/9/2016



PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya, yang bertanda tangan di bawah ini:

NAMA : Evan Narendra Angragani

NIM : 612012010

JUDUL SKRIPSI : Sistem Perencanaan Gerakan Berjalan Robot Humanoid
R2-R9 Bioloid GP Menggunakan Metode Proyeksi
Bidang Kartesian

Menyatakan bahwa skripsi tersebut di atas bebas plagiat. Apabila ternyata ditemukan unsur plagiat di dalam skripsi saya, maka saya bersedia mendapatkan sanksi apapun sesuai aturan yang berlaku.

Salatiga, September 2016



Evan Narendra Angragani

1956

INTISARI

Tujuan dari pengerjaan tugas akhir ini adalah membuat sebuah sistem perencanaan gerakan berjalan untuk robot Bioloid GP milik tim R2C R9. Untuk berkompetisi dalam Kontes Robot Sepakbola Indonesia, robot harus memiliki gerakan berjalan yang stabil untuk mengejar bola. Sistem perencanaan gerakan dibuat untuk meningkatkan efisiensi dan fleksibilitas pembuatan gerakan berjalan dan menggantikan sistem lama yang berbasis *trial and error*.

Pada sistem ini, gerakan dihasilkan berdasarkan pembentukan kurva lintasan engkel dan panggul pada ruang kartesian tiga dimensi. Lintasan dihasilkan dari fungsi pembangkit koordinat yang menghasilkan deretan titik-titik posisi engkel dan panggul pada arah sumbu x , y , dan z . Bentuk dari kurva yang dihasilkan ditentukan oleh seperangkat parameter gerakan berjalan. Hasil dari fungsi pembangkit koordinat kemudian dibentuk menjadi sebuah pola gerakan berjalan dan dikirimkan ke sistem *inverse kinematic* untuk dijalankan oleh robot.

Dari pengujian yang telah dilakukan, sistem dapat menghasilkan gerakan berjalan berdasarkan parameter yang ditentukan. Tingkat keberhasilan melaksanakan gerakan berjalan adalah 90% untuk maju, dan 100% untuk mundur, geser kanan, geser kiri, putar kanan, serta putar kiri. Kecepatan berjalan rata-rata robot adalah 14,16 cm/s untuk maju; 5,62 cm/s untuk mundur; 6,19 cm/s untuk geser kanan; dan 7,07 cm/s untuk geser kiri. Waktu rata-rata yang diperlukan robot untuk berputar 360^0 adalah 16,54 s ke arah kanan dan 12,91 s ke arah kiri.

Mengetahui,

Mengesahkan,

Penyusun,

Dr. Iwan Setyawan
Dekan

Daniel Santoso, M.S.
Pembimbing

Evan Narendra A.

ABSTRACT

The aim of this thesis is to make a walking motion planning for the Bioloid GP robot of the R2C R9 team. To compete in the Indonesia Robot Soccer Competition, the robot must have a stable walking motion to get to the ball. Motion planning system was made to improve the efficiency and flexibility of the motion creation process and replace the previous trial and error based system.

In this system the motion created based on the forming of ankle and pelvis trajectory curve in a three dimensional cartesian space. The trajectory is generated from a coordinate generator function that generate a series of coordinate for the ankle and pelvis in the x , y , and z direction. The shape of the resulting curve is determined by a set of walking motion parameter. The results of the coordinate generator function are then formed into a walking pattern and then sent to the inverse kinematic system to be actuated by the robot.

From the experiments, the system is able to generate a walking motion based of the set parameters. The success rate of the walking motion execution are 90% for forward walking, and 100% for backward, right sidestep, left sidestep, right turn, and left turn. The average speed of the robot's walking motion are 14,16 cm/s for forward walking, 5,62 cm/s for backward walking, 6,19 cm/s for right sidestep, and 7,07 cm/s for left sidestep. The average time it takes for the robot to do a complete 360° turn are 16,54 s for the right direction and 12,91 s for the left direction.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yesus Kristus yang senantiasa menyertai penulis selama menempuh pendidikan tinggi dari awal hingga penyelesaian tugas akhir sebagai syarat kelulusan di Fakultas Teknik Elektronika dan Komputer Universitas Kristen Satya Wacana.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang baik secara langsung maupun tidak langsung telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini:

1. Tuhan Yesus Kristus yang selalu memberkati, menyertai, dan menyediakan jalan yang terbaik bagi penulis selama menempuh pendidikan S1 di FTEK UKSW dari awal hingga selesai.
2. Bapak Budi Prawoto, Ibu Listya Angrenani, kakak Rastra Hayu Lumanti, dan adik Hosea Sangadi Nareswara sebagai keluarga tercinta yang telah selalu mendidik, mendukung, dan mendoakan penulis.
3. Fitri Nugrahani yang telah setia menemani, memberikan semangat, dan membantu penulis dalam suka dan duka sejak awal menempuh jenjang perkuliahan hingga selesai bersama.
4. Bapak Daniel Santoso, M.S. dan Bapak Gunawan Dewantoro, S.T., M.Sc.Eng. selaku pembimbing I dan pembimbing II yang telah membimbing dan memberikan saran serta masukan kepada penulis selama mengerjakan tugas akhir ini.
5. Keluarga besar tim R2C yang selalu memberikan semangat dan mendukung dalam melakukan riset, serta berjuang bersama dalam suka dan duka mempersiapkan Kontes Robot Indonesia.
6. Keluarga besar angkatan 2012 yang senantiasa berbagi suka dan duka perkuliahan, mendukung, dan menemani penulis selama menempuh studinya di FTEK UKSW.
7. Seluruh staff dosen, karyawan dan laboran FTEK yang memfasilitasi penulis selama menempuh pendidikan S1 di FTEK UKSW.
8. Berbagai pihak yang tidak dapat dituliskan satu persatu, penulis mengucapkan terima kasih.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata “sempurna”, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca sehingga tugas akhir ini dapat berguna bagi kemajuan pendidikan FTEK UKSW dan riset tim R2C UKSW.



DAFTAR ISI

INTISARI	i
ABSTRACT.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMBANG	xii
DAFTAR SINGKATAN	xiv
BAB I.....	1
1.1. Tujuan	1
1.2. Latar Belakang	1
1.2.1. Pendahuluan.....	1
1.2.2. Permasalahan	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Sistematika Penulisan	4
BAB II.....	5
2.1. Kajian Pustaka.....	5
2.1.1. Perancangan Sistem Kontrol dan Algoritma Untuk Optimalisasi Gerakan dan Kestabilan pada Robot Humanoid (Yonas Aditya Darmawan, 2014)	5
2.1.2. Perancangan Algoritma dan sistem gerakan pada RoboSoccer R2C R9 (Robotis GP) (Kurnia Sanjaya 2015).....	5
2.1.3. Online Walking Pattern Generation and Its Application to a Biped Humanoid Robot — KHR-3 (HUBO) (Ill-Woo Park, et. al. 2008).....	6
2.2. Konsep Gerakan Berjalan Humanoid.....	6
2.3. Ruang Kartesian Tiga Dimensi	9

BAB III	11
3.1. Gambaran Sistem	11
3.2. Perancangan Sistem Pembangkit Lintasan.....	12
3.2.1 Pembangkitan Nilai Koordinat $x(t)$	12
3.2.2. Pembangkitan Nilai Koordinat $y(t)$	13
3.2.3. Pembangkitan Nilai Koordinat $z(t)$	13
3.3. Perancangan Perangkat Keras	16
3.4. Perancangan Perangkat Lunak	17
BAB IV	21
4.1. Pengujian Sistem Pembangkit Koordinat.....	21
4.1.1. Fungsi Koordinat $x(t)$	21
4.1.2. Fungsi Koordinat $y(t)$	23
4.1.3. Fungsi Koordinat $z(t)$	25
4.2. Pengujian Sistem Pembangkit Pola Berjalan	27
4.2.1. Pembangkit Pola Berjalan $x(t)$	28
4.2.2. Pembangkit Pola Berjalan $y(t)$	29
4.2.3. Pembangkit Pola berjalan $z(t)$	30
4.2.4. Pembangkit Pola Gerakan Berputar.....	31
4.3. Pengujian Pembangkit Lintasan	31
4.4. Pengujian Penerapan Sistem pada Robot.....	33
4.4.1. Pengujian Gerakan Berjalan Maju	33
4.4.2. Pengujian Gerakan Berjalan Mundur	34
4.4.3. Pengujian Gerakan Geser Kanan	35
4.4.4. Pengujian Gerakan Geser Kiri	36
4.4.5. Pengujian Gerakan Putar Kanan	37
4.4.6. Pengujain Gerakan Putar Kiri	38
BAB V	40

5.1. Kesimpulan	40
5.2. Saran Pengembangan	41
DAFTAR PUSTAKA	42



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Bentuk fase DSP dan SSP robot	7
Gambar 2.2. Support Polygon dengan warna abu-abu: (a) Double Support Polygon, (b) Double Support Polygon (Pre-Swing), (c) Single Support Polygon	7
Gambar 2.3 Posisi CoM terhadap <i>support polygon</i> untuk <i>static walking</i>	8
Gambar 2.4 Posisi CoM terhadap <i>support polygon</i> untuk <i>dynamic walking</i>	9
Gambar 2.5. Bidang anatomis humanoid.....	9
Gambar 2.6 Lintasan pada bidang <i>sagital</i> (a) dan lintasan bidang <i>frontal</i> (b)	10
Gambar 3.1 Diagram alir sistem	11
Gambar 3.2 Penampang <i>sagital</i> menunjukkan gerakan robot pada arah x dan y	12
Gambar 3.3 Penampang <i>frontal</i> menunjukkan gerakan robot pada arah sumbu z	14
Gambar 3.4 Penampang <i>frontal</i> menunjukkan gerakan langkah samping robot.....	15
Gambar 3.5 Penampang <i>transverse</i> telapak kaki robot yang menunjukkan langkah putar.	16
Gambar 3.6 Desain robot Bioloid-GP yang dimodifikasi.....	17
Gambar 3.7 Diagram alir algoritma pembangkit lintasan.....	18
.....	19
Gambar 3.8 Diagram alir algoritma pergantian langkah.	19
Gambar 4.1 Kurva koordinat x engkel terhadap waktu selama satu periode langkah dengan variasi parameter jarak langkah (f)......	22
Gambar 4.2 Kurva koordinat x panggul terhadap waktu selama satu periode langkah dengan variasi parameter faktor bentuk (α_x)......	22

Gambar 4.3 Posisi awal dan akhir engkel dan panggul robot pada sumbu x untuk satu periode langkah.....	23
Gambar 4.4 Kurva koordinat y engkel terhadap waktu selama satu periode langkah dengan variasi parameter tinggi langkah (h).....	24
Gambar 4.5 Posisi engkel robot pada sumbu y pada saat puncak langkah kaki pada setengah periode.	24
Gambar 4.6 Kurva koordinat z engkel terhadap waktu selama satu periode langkah dengan variasi parameter lebar langkah samping (A).....	25
Gambar 4.7 Kurva koordinat z panggul terhadap waktu selama satu periode langkah dengan variasi parameter lebar simpangan panggul ke samping (S_y).....	26
Gambar 4.8 Kurva koordinat z panggul terhadap waktu selama satu periode langkah dengan variasi parameter faktor bentuk kurva (α_z).....	26
Gambar 4.9 Posisi pada sumbu z dari (a) engkel robot untuk satu periode langkah samping, dan (b) panggul robot pada puncak simpangan panggul saat setengah periode.	27
Gambar 4.10 Grafik pola kurva koordinat x terhadap waktu untuk engkel dan panggul.	28
Gambar 4.11 Grafik pola kurva koordinat arah x terhadap waktu akhir untuk kaki kanan dan kiri hasil selisih koordinat engkel dan panggul.....	29
Gambar 4.12 Grafik pola kurva koordinat y terhadap waktu.	29
Gambar 4.13 Grafik pola kurva koordinat z terhadap waktu untuk engkel dan panggul.	30
Gambar 4.14 Grafik pola kurva koordinat arah z terhadap waktu akhir untuk kaki kanan dan kiri hasil selisih koordinat engkel dan panggul.....	30
Gambar 4.15 Grafik pola perubahan sudut putaran kaki robot terhadap waktu.	31

Gambar 4.16 Kurva lintasan engkel bidang xy	31
Gambar 4.17 Kurva lintasan engkel bidang zy	32
Gambar 4.18 Kurva lintasan engkel bidang xz	32



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Parameter gerakan berjalan maju.....	33
Tabel 4.2 Hasil pengujian gerakan berjalan maju.....	34
Tabel 4.3 Parameter gerakan berjalan mundur	34
Tabel 4.4 Hasil pengujian gerakan berjalan mundur	35
Tabel 4.5 Parameter gerakan geser kanan	35
Tabel 4.6 Hasil pengujian gerakan geser kanan	36
Tabel 4.7 Parameter gerakan geser kiri	36
Tabel 4.8 Hasil pengujian gerakan geser kiri	37
Tabel 4.9 Parameter gerakan putar kanan.....	37
Tabel 4.10 Hasil pengujian gerakan putar kanan.....	38
Tabel 4.11 Parameter gerakan putar kiri.....	38
Tabel 4.12 Hasil pengujian gerakan putar kiri.....	39

DAFTAR LAMBANG

b	jarak langkah awal
f	jarak langkah akhir
t	<i>counter</i> waktu
$t1$	<i>counter</i> waktu awal langkah
$t2$	<i>counter</i> waktu akhir langkah
$\check{x}_a(t)$	koordinat engkel pada sumbu x saat t
$\check{x}_p(t)$	koordinat panggul pada sumbu x saat t
a_i	koefisien batas awal dan akhir panggul ke- i untuk arah sumbu x
α_x	faktor bentuk kurva gerakan panggul arah sumbu x
$y(t)$	koordinat engkel pada sumbu y saat t
h	tinggi langkah
$Za_l1(t)$	koordinat engkel kiri arah sumbu z saat t untuk setengah periode awal
$Za_r1(t)$	koordinat engkel kanan arah sumbu z saat t untuk setengah periode awal
$Za_l2(t)$	koordinat engkel kiri arah sumbu z saat t untuk setengah periode akhir
$Za_r2(t)$	koordinat engkel kanan arah sumbu z saat t untuk setengah periode akhir
St_l	posisi awal langkah samping kaki kiri
St_r	posisi awal langkah samping kaki kanan
End_l	posisi akhir langkah samping kaki kiri
End_r	posisi akhir langkah samping kaki kanan
A	lebar langkah samping
η	rasio langkah samping
Z_p1	koordinat panggul arah sumbu z saat t untuk setengah periode awal
Z_p2	koordinat panggul arah sumbu z saat t untuk setengah periode akhir
t_0	<i>counter</i> waktu setengah periode
\tilde{a}_i	koefisien batas awal dan akhir panggul ke- i untuk arah sumbu z
S_y	jarak simpangan panggul ke samping
α_z	faktor bentuk kurva gerakan panggul arah sumbu z
$H_l(t)$	<i>heading</i> kaki kiri saat t

$H_l(t)$	<i>heading</i> kaki kanan saat t
h_{l_0}	<i>heading</i> awal kaki kiri
h_{l_1}	<i>heading</i> akhir kaki kiri
h_{r_0}	<i>heading</i> awal kaki kanan
h_{r_1}	<i>heading</i> akhir kaki kanan



DAFTAR SINGKATAN

ABU	Asia-Pasific Broadcasting Union
CoM	Center of Mass
DSP	Double Support Phase
KRN	Kontes Robot Nasional
PID	Proportional Integral Derivative
R2C	Robotic Research Center
SSP	Single Support Phase
ZMP	Zero Moment Point